Das Verhalten der Gewebe der Wirbellosen in polarisiertem Lichte.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau

vorgelegt

von

Friedrich **Walter Oelze.**

Breslau
Buchdruckerei H. Fleischmann
1914.

Gedruckt mit Genehmigung einer Hohen Philosophischen Fakultät der Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau.

Berichterstatter: Prof. Dr. K ü k e n t h a l.

Tag der mündlichen Prüfung: 11. November 1914.

Literatur.

1. Becher, Siegfried. Ueber eine auf die Struktur des Echinodermenskelettes gegründete neue Methode zur Herstellung von polarisiertem Lichte. Zool. Anz. XLIV, 122, 1914.
2. Ambrann, H. Die Untersuchung der Nitrozellulosen im Polarisationsmikroskop. Kolloid-Ztschr. 13, 200, 1913.
3. Hofmeister, H. Die Lehre von der Pflanzenzelle. Leipzig, 1867.
4. Ronget, L. Sur les phenomènes de polarisation. Brown-Séquard, 1862.
5. Ebner, V. v. Untersuchungen über die Ursachen der Anisotropie organisierter Substanzen. Leipzig, 1882.



Fragestellung und Methodik.

Die Fortschritte in der Erkenntnis der Natur der organisierten Materie sind mit den Fortschritten der mikroskopischen Technik aufs engste verknüpft. Nur ein menschliches Auge, dessen Auflösungsfähigkeit durch das Mikroskop auf das vielhundertfache gesteigert war, konnte jene Einsicht in den Mechanismus des Lebensprozesses gewinnen, die unsere ganze Lebensauffassung von Grund auf beeinflusst und noch immer beherrscht.

Diese Erkenntnisse sind mit Hilfe des sichtbaren Lichtes, jenes schmalen Teiles aus dem weiten Spektrum, auf den unser Sehapparat abgestimmt ist, gewonnen worden. Erst in neuester Zeit ist man dazu übergegangen, auch Licht, das von so kurzer Wellenlänge ist, dass unser Auge es nicht mehr als Licht empfindet, zum Untersuchen zu verwenden. Allerdings muss diese Energie erst auf dem Umweg über eine Fluorescenzplatte dem Auge sichtbar gemacht werden. Oder die Netzhaut muss durch die photographische Platte ersetzt werden. Die Vorteile dieser Untersuchungsmethode sind in optischer Hinsicht ausserordentlich gross, die Auflösungsfähigkeit ist weit grösser geworden, als sie selbst Abbe für sichtbares Licht begrenzt hatte und die künftige Forschung wird sicherlich noch manches dem Ultra- und dem Luminescenzmikroskop zu verdanken haben.

Allein noch mit einer anderen Art von Licht kann mikroskopische Forschung betrieben werden. Mit sichtbarem Licht, das sich aber von dem gewöhnlichen Licht dadurch unterscheidet, dass es nur in einer Ebene schwingt, polarisiert ist.

Die Untersuchung mit polarisiertem Licht ist seit langem angewandt (Brewster 1816, Talbot 1835), und bedeutende Forscher betrachten prinzipiell jedes Objekt auch im polarisierten Licht (Apathy, Mikrotechnik). Aber dennoch hat das polarisierte Licht wohl kaum jemals eine allgemeine, durchgreifende Anwendung gefunden, wie beispielsweise auch Engelmann gelegentlich beklagt. Da nun in letzter Zeit die mikroskopische Technik die Apparatur bedeutend vervollkommnet hat, erschien es dem Verfasser angezeigt, eine möglichst allgemeine Untersuchung über das Verhalten der Gewebe der Evertebraten im polarisierten Licht anzustellen. Die erste Anregung dazu erhielt Verfasser bei seiner mikroskopischen Ausbildung im Institut für Mikroskopie der Universität Jena, unter Leitung von Herrn Professor Hermann Ambronn. Für die vielfachen dort empfangenen Anregungen bin ich Herrn Prof. Ambronn zu grossem Danke verpflichtet. Ausgeführt wurde die Arbeit im zoologischen Institut der Universität Breslau. Meinem Lehrer, Herrn Professor Willy Kükenthal bin ich für die dauernde Freude, welche ich durch seinen Unterricht empfangen habe und für seine vielfache Förderung, die er meinen Arbeiten hat zu Teil werden lassen in dauernder, tiefgefühlter Dankbarkeit verbunden.

Der grosse Umfang des zu untersuchenden Gebietes machte von vornherein gewisse Beschränkungen nötig. Einmal musste die Zahl der untersuchten Individuen beschränkt werden und ferner konnten auch nicht alle verschiedenen Untersuchungsmethoden mit polarisiertem Licht durchgehend angewandt werden. So wurde schliesslich nur, um wenigstens einen allge-

meinen Überblick zu gewinnen, eine kursorische Durchsicht von Vertretern der einzelnen Tierstämme vorgenommen, und auch hierbei wurden die komplizierteren Methoden der Untersuchung, im Quecksilberdampflicht, mit dem Quarzteilokular, mit dem Achsenbildermikroskop, mit dem Mikrospektroskop, nur da angewandt, wo sich Schwierigkeiten und Unklarheiten ergaben. Naturgemäss musste auch auf das vorhandene Untersuchungsmaterial Rücksicht genommen werden. Wo möglich, wurde frisches Material verwandt. Glücklicherweise leiden die optischen Eigenschaften der Gewebe durch Fixierung und Färbung, wenn man von sehr showlt aneutralen Chemikalien absieht, nicht wesentlich, so das die Verwendung von konserviertem Material gestattet erschien. Trotzdem ist natürlich das ideale Untersuchungsmaterial ein frischer, subvitaler Gefrierschnitt.

Aber auch durch andere Umstände wurde die Arbeit verkürzt. Die Mobilmachung bereitete der wissenschaftlichen Arbeit ein jähes Ende und ich beende diese Arbeit auf Urlaub, vor dem Eintritt in die Front. So bin ich mir sehr wohl bewusst, dass es sich hier nur um einen ganz bescheidenen Versuch handelt, in einem grossen, neuen Gebiete die ersten, zögernden Schritte zu tun. Die grossen Lücken dieses Versuches sind mir klar vor Augen, aber ich hoffe später in ausführlicher Arbeit ein geschlossenes Bild dieser merkwürdigen optischen Vorgänge geben zu können.

* * *

Es dürfte angebracht sein, zunächst nach einigen optischen Vorbemerkungen eine Beschreibung der angewandten Apparatur zu geben, da eine solche vollständig noch nicht gegeben ist und die Nachprüfung meiner Befunde und das Weiterarbeiten anderer Forscher auf diesem Gebiete erleichtern dürfte.

Von den mannigfachen Mitteln, um polarisiertes Licht zu erzeugen, finden in der Mikroskopie fast nur die Prismen aus Kalkspath Verwendung, sie werden in verschiedenen Formen von Nikol, Hartnack-Prazmowski, Abbe gebraucht.

Wird das Licht der Beleuchtungsquelle durch ein unter dem Objekttisch angebrachtes Kalkspathprisma, den Polarisator, polarisiert, so gewährt ein beliebiges histologisches Objekt genau denselben Anblick, wie früher (von einem etwaigen Pleoctroismus abgesehen). Wendet man nun über dem Objekt an irgend einer Stelle des Strahlenganges ein zweites Prisma, den Analysator, an, so verändert sich auch jetzt, falls die Polarisationsebenen der beiden Prismen parallel stehen, noch nichts. In dem Maasse, wie die beiden Polarisationsebenen einen Winkel miteinander bilden, verdunkelt sich aber das Gesichtsfeld, bis bei einem Winkel von 90^0 völlige Dunkelheit eingetreten ist, und auch das Objekt ist verschwunden, nur einzelne Teile desselben strahlen in hellem Licht, eben die doppelbrechenden, anisotropen Gewebe und Zellen.

Für die histologische Untersuchung ist allerdings ein Verschwinden der isotropen Teile des Präparates oft störend, man bedient sich daher mit Vorliebe der Untersuchung über Gipsplättchen. Schaltet man ein Gipsplättchen so in den Strahlengang ein, dass die Schwingungsebenen der gekreuzten Nicols mit der Schwingungsebene der Gipsplatte einen Winkel von 45^0 bilden, so beobachtet man eine Aufhellung und gleichzeitig eine Farbe des Bildfeldes. Der Ton der Farbe hängt von der Dicke der Gipsplatte ab und man benutzt gewöhnlich für die Untersuchung eine Reihe verschiedener Gipsplatten. Die Farbe kommt dadurch zu Stande, dass die verschiedenen Wellenlängen des weissen Lichtes eine verschiedene Verzögerung erleiden, auf diese Weise kommt eine von der Dicke jeder Gipsplatte abhängige Farbe, die den Farben der

Newton'schen Farbenringe entspricht, zu Stande. Je dicker die Gipsplatte ist, um so weisslicher wird die Farbe. Am meisten angewandt wird eine Gipsplatte, die die Farbe Roth I. Ordnung ergibt. Bringt man über eine solche Gipsplatte ein Objekt, das doppelbrechende Teile enthält, so wirken diese Teile so, als ob die Gipsplatte an den betreffenden Stellen verdickt, oder verdünnt wäre, je nachdem, ob die Schwingungsachsen von Gipsplatte und Objekt parallel, oder rechtwinklig zueinander stehen; im ersten Falle tritt ein Steigen der Farbe (Additionsfarbe) im zweiten ein Sinken der Farbe (Subtraktionsfarbe) ein.

Um sich über den Verlauf der optischen Achsen von Geweben und Zellen zu unterrichten, bedient man sich eines Glimmerplättchens, welches für ein bestimmtes Licht einen Gangunterschied von bestimmter Grösse, z. B. $^1/_4$ L. für die beiden Strahlen bedingt. Man bedient sich auch, um zu entscheiden, ob ein optisch einachsiges oder zweiachsiges Gebilde vorliegt, eines besonderen Achsenbilderokulars, das ein einfaches Hilfsmikroskop darstellt, welches in den Tubus des betreffenden Mikroskopes eingeschoben wird.

Besonderen Vorteil bietet die Anwendung des Polarisationsapparates in Verbindung mit dem Mikrospektroskop. Die Anwesenheit eines Gipsplättchens gibt sich hier daran zu erkennen, dass im Spektrum eine Anzahl Lücken, die Müllerschen Streifen, auftreten; diese sind umso zahlreicher, je dicker das fragliche Objekt ist. Bringt man nun ein Präparat, das doppeltbrechend ist, über die Gipsplatte, so werden diese Streifen nach Rot oder Violett hin verschoben. Hieraus lässt sich die Natur der Doppelbrechung und die Lage der Elastizitätsachsen in dem Objekt unmittelbar ermitteln.

Indessen stellt den vollkommensten Apparat das Okular mit Quarzkeil-Kompensator von Siedentopf dar, das dem Birefraktometer von Amann ähnelt. In einem

Ramsden'schen Okular ist ein auswechselbarer Quarzkeil verschieblich angebracht. Der Keil trägt eine Teilung, welche den Gangunterschied in $\frac{mm}{1000}$ angibt, welchen der ordentliche und der ausserordentliche Strahl gegeneinander beim Durchgang durch den Keil in den bezüglichen Querschnitten erhalten. Sind die gekreuzten Polarisationsebenen des Polarisators und des auf das Okular gesetzten Analysators unter 45° gegen die Hauptebene des Quarzkeils geneigt, und legt man das zu untersuchende Präparat so, dass die Polarisationsebene der schnelleren Welle senkrecht zur optischen Achse des Quarzkeils liegt, die der langsameren Welle parallel der optischen Achse, so sind die Phasenverzögerungen im Präparat und im Quarzkeil entgegengesetzt (Subtraktionslage). Es wird sich also durch Verschieben des Quarzkeiles, vorausgesetzt, dass der durch ihn bewirkte Gangunterschied genügend gross ist, eine Stelle finden lassen, an welcher die Verzögerungen entgegengesetzt gleich sind und sich somit aufheben. In diesem Querschnitte des Keiles wird ein schwarzer Streifen erscheinen, während links und rechts von ihm farbige Streifen, den Farben dünner Blättchen ähnlich, auftreten. An der Stelle des schwarzen Streifens liest man den im Präparat vorhandenen Gangunterschied an der Teilung ab. Für histologische Zwecke reicht ein einziger Quarzkeil, der von 0. bis 2. Ordnung geht, vollkommen aus. Ein Strahlenteil entspricht bei ihm einem Gangunterschiede von je 0,1 μ Dabei können Gangunterschiede von 0,01 μ noch leicht geschätzt werden. Die Genauigkeit der Messung ist also eine ausserordentlich grosse. Die Keile sind für die grüne Quecksilberlinie 546 μμ geeicht.

Endlich sei noch eines Apparates gedacht, der es ermöglicht in bequemer Weise ein strikt monochromatisches Licht herzustellen, das für viele Untersuchungen auch im polarisierten Lichte für exakte

Messungen von grossem Werte ist. Es handelt sich um eine besondere Quecksilberdampflampe, die von Zeiss unter dem Namen Hagel-Mikroskopierlampe in den Handel gebracht wird. Aus dem linienreichen Spektrum des Quecksilberdampfes werden durch Farbfilter einzelne Linien herausgefangen, für gelb, $\lambda = 579$ und $576 \mu\mu$, für grün $\lambda = 546 \mu\mu$ und für blau $\lambda = 436 \mu\mu$. Auch das nur durch einen Kondensor ohne Filter konzentrierte Licht der Quecksilberdampflampe ist zum Gebrauch mit dem Gipsplättchen Rot I. O. hervorragend geeignet, da man auf diese Weise noch einen deutlichen Farbenumschlag erhält, der die Doppelbrechung anzeigt, andererseits aber durch die gedämpfte Eigenfarbe der Gipsplatte die histologische Untersuchung der isotropen Teile des Präparates garnicht gelöst wird.

Es sei hier noch vorweggenommen, um das Verständnis des folgenden zu erleichtern, dass ich zwei Arten von histologischer Anisotropie unterscheide. Einmal kann ein ganzes bestimmtes Gewebe in seiner Gesamtheit doppelbrechend sein, dann spreche ich von einer idiohistischen Doppelbrechung. Dann kann aber auch ein bestimmtes Gewebe innerhalb seiner scheinbar gleichmässigen Textur optische Differenzen aufweisen, dann spreche ich von einer pleiohistischen Doppelbrechung. Idiohistische Doppelbrechung wies beispielsweise die Muskulatur auf, pleiohistische Doppelbrechung findet sich in hervorragendem Masse beispielsweise innerhalb der Mesoglöa der Aktinien.

Systematische Untersuchung.

I. Stamm: Protozoa.

I. Klasse: **Rhizopoda**.

I. Ordnung: **Lobosa.**

A) Amoebina. Ohne Doppelbrechung.

B) Thelocolobosa. Arcella. Ohne Doppelbrechung.

II. Ordnung: **Filosa.** Die Tiere selbst sind isotrop, die Schale (Amphitrema) zeigt eine mässige Doppelbrechung.

III. Ordnung: **Thalamophora.** Die Schalen zeigen z. T. lebhafte D.-B.; überh. Rot I. Ordn. blau u. gelb. Die Tiere selbst keine D.-B.

IV. Ordnung: **Heliozoa.** Actinosphaerium eichhorni. Präparat. Zeigte keine D.-B. Nur bei verletzten Tieren, gelegentlich kleine doppelbrechende Flecke, offenbar Artefacte. Unbeschädigte Tiere haben auch bei 546 $\mu\mu$ keine Anisotropie. Das Kieselskelett ist bei diesem Licht gleichfalls isotrop, nur gelegentlich lässt sich eine unsichere Helligkeitsänderung konstatieren. Die Isotropie des Skelettes ist seit langem bekannt, doch ist es schwer, bei diesen dünnen Objekten eine gelegentliche Doppelbrechung für ausgeschlossen zu halten.

V. Ordnung: **Radiolaria.** Praeparat ohne Spec. Keine D.-B. Auch das Skelett isotrop.

A) Porulosa. 1. Spumellaria. Collozoum hertwigi. Praep. Keine D.-B.
inerme- „ „ „
2. Acantharia.

B) Oscula. 1. Nassellaria. Keine Doppelbrechung.
2. Phaeodaria. Keine Doppelbrechung.

Callenger-Radiol. Keine D.-B.
Radiolarien aus Kreide von Barbados zeigen leichte Anisotropie.

II. Klasse: **Flagellata.**

1. Ordnung: **Autoflagellata.**

2. Ordnung: **Choanoflagellata.**

3. Ordnung: **Dinoflagellata.**

4. Ordnung: **Cystoflagellata.**

Sämtliche untersuchten Flagellaten zeigen keine Doppelbrechung.

III. Klasse: **Ciliata.**

I. Ordnung: **Holotricha.** Paramaecium. lebend. Zeigt auch bei rascher Bewegung, Drehung, Dehnung u. Contraktion keine merkbare D.-B.

II. Ordnung: **Heterotricha.** Stentor caeruleus. Keine D.-B.

III. Ordnung: **Peritricha.** Vorticella. Keine D.-B. Auch bei Kontraktionen der Tiere tritt keine Doppelbrechung auf.

IV. Klasse: **Sporozoa.**

Sporozoa Oesophag. Schaf. Kükenthal-Praep. keine D.-B.

1. Ordnung: **Gregarinida,** ohne Doppelbrechung.

2. Ordnung: **Coccidiaria.** Coccidium, Kaninchen-leber-Präparat. Keine D.-B.

3. Ordnung: **Haemosporidia**, keine Doppelbrechung.

4. Ordnung: **Myxosporidia**, keine Doppelbrechung.

5. Ordnung: **Sarcosporidia**, keine Doppelbrechung.

Zusammenfassend kann über die Protozoen gesagt werden, dass auch nicht in einem einzigen Falle bei irgend einem Tiere eine Doppelbrechung konstatiert werden konnte; ausgenommen sind die lediglich kalkigen Skeletteile bei manchen. Es ist also Doppelbrechung, oder mit anderen Worten, eine in bestimmten Sinne erfolgte, gleichmässige Orientierung im Raume der Moleküle keineswegs zur Erfüllung des Lebensprozesses nötig. Es ist ja auch einleuchtend, dass bei dem Protozoon, das in den meisten Fällen einer festen Stütze entbehrt, keine günstige Voraussetzung für das Eintreten einer Anisotropie gegeben ist. Aber andererseits zeigen doch jene Formen, die ein reiches Skelett besitzen, dass auch dieses nicht die Veranlassung zur Ausbildung einer Anisotropie zu sein braucht. Wir werden selbst Metazoen kennen lernen, die in ihrem gesamten Körper keine Spur von Doppelbrechung zeigen.

Zum Vergleiche werden noch Leukocyten des Frosches und vom Menschen, diese auf dem heizbaren Objekttisch untersucht. Auch die Leukocyten sind frei von Doppelbrechung, und schliessen sich demnach auch in dieser Hinsicht an die Protozoen an.

II. Stamm: Coelenteraten.

I. Klasse: **Porifera-Schwämme.**

Bei den Schwämmen tritt uns zum ersten Male eine Doppelbrechung der Gewebe entgegen. Die Spiculae sind bei den Silicispongien isotrop, bei den Calcispongien anisotrop, ein Verhalten, das mit diesen Stoffen bei den Protozoen übereinstimmt. Die Doppelbrechung der Gewebe liegt oft an der Grenze der Wahrnehmbarkeit, in einigen Fällen ist sie jedoch auch ausserordentlich stark. Als Material wurde folgendes untersucht:

I. Ordnung: **Calcispongiae.**

Die Spiculae der Kalkschwämme sind anisotrop. Im Gewebe ist das Ectoderm isotrop, desgleichen das Entoderm, die Geisselzellen und die Gonaden. Dagegen weist das Mesenchym eine teils schwächere, teils stärkere Doppelbrechung auf. Bei Sycon raphanus recht schwach, wird sie bei verwandten Arten deutlicher, und ruft bei Grantia compressa bereits einen deutlichen Farbenumschlag hervor. Ihrer Natur nach ist diese Doppelbrechung durchaus pleiohistisch. Niemals ist sie an einzelne Mesenchymzellen gebunden. Sondern sie breitet sich vielmehr flächenhaft im Mesenchym aus, ohne an bestimmte Eigentümlichkeiten des Gewebes gebunden zu sein. Oft liegt beispielsweise eine etwas dichtere Stelle des Gewebes teilweise in dem doppelbrechenden Bezirk, teilweise ausserhalb desselben.

Die Spiculae weisen ein stellenweise kompliziertes Verhalten auf. Bei einigen Formen sind sie gleichmässig anisotrop, während bei anderen Formen, und besonders bei solchen mit guter Ausbildung der Nadeln, verschiedene Schichten vorhanden sind, deren optische Achsen zueinander senkrecht stehen, sodass bei einer

bestimmten Stellung über der Gipsplatte die Nadel teils Additions- teils Subtractionsfarbe zeigt. Besonders deutlich wird dies Verhalten bei dem grünen Lichte der Quecksilberdampflampe, ein Teil der Spiculae leuchtet dann auf, während ein anderer dunkel bleibt, bei Drehung des Objekttisches kehren sich dann die Verhältnisse um. Dies Verhalten scheint einen Fingerzeig für die Entstehung der Spiculae zu geben, offenbar sind einzelne Schichten zu verschiedenen Zeiten durch Apposition aufeinander gelagert. Weitere Untersuchungen in dieser Richtung dürften jedenfalls unter Benutzung lebenden Materials interessante Resultate ergeben.

II. Ordnung: **Silicispongiae.**

Die Spiculae der Silicispongien sind isotrop. Im Gewebe tritt ebenso wie bei den Calcispongiae nur im Mesenchym eine Doppelbrechung auf. Auch hier weisen die verschiedenen Species grosse Unterschiede auf. Bei Geodia placenta, Tubella vesparium, Spongilla niteus, Uruguaya coralloides, Schaudinnia arctica, Petrosiadura, ist die Anisotropie sehr schwach, bei Thethya seychellensis, Hyalothomma schulzei, Ficulina ficus, Suberites ficus, Corticium candelabrum mässig stark, bei Spongilla lacustris, Trochospongilla horrida, Oscarella lobularis, Suberites domuncula stark und bei Chondrosia reniformis am stärksten von allen Schwämmen. Es ist zu empfehlen Schnitte von 40—50 μ Dicke zur Untersuchung zu benutzen, da sonst leicht eine vorhandene, geringe Anisotropie übersehen werden kann.

II. Kreis: Cnidaria.

II. Klasse: **Hydrozoa.**

I. Ordnung: **Hydrariae.**

Hydra fusca und Hydra viridis wurden lebend untersucht. Hydra fusca eignet sich besser zur Unter-

suchung, weil sie an sich durchsichtiger ist, und keine so auffällige Eigenfarbe besitzt. Das Resultat der Untersuchung unter allen möglichen Bedingungen war, dass Hydra keine Spur von Doppelbrechung besitzt. Dieser Befund ist insofern sehr interessant, als er mit der Ebner'schen Hypothese über die Entstehung der Doppelbrechung kaum in Einklang zu bringen ist. Auch bei den sehr kräftigen Kontraktionen und Dehnungen, die das Tier unter dem Mikroskop ausführt, tritt keine Doppelbrechung auf, somit braucht also durchaus nicht Spannung und Dehnung Doppelbrechung hervorzurufen. In Hydra haben wir einen der wenigen Metazoen vor uns, die völlig isotrop sind.

II. Ordnung: **Hydrocorallinae.**

Die Untersuchung von Millepora zeigt, dass das Kalkskelett doppelbrechend ist (wie bei den bisher beobachteten Formen), das Gewebe des Tieres selbst weist keine Doppelbrechung auf. Es war nur konserviertes Material vorhanden.

III. Ordnung: **Tubularidae.**

Tubularia larynx und indivisa waren isotrop. Cordylophora lacustris war gleichfalls einfachbrechend. Bei Sarsia eximia zeigte sich eine ganz leichte, über das ganze Tier verbreitete Anisotropie. Auch hier wäre eine Nachprüfung an frischem Material erwünscht.

IV. Ordnung: **Campanularidae.**

Bei Campanularia flexuosa und verticellata zeigte sich keine Anisotropie.

V. Ordnung: **Trachymedusae.**

Im allgemeinen ist Liriope isotrop nur im Mundkegel zeigte sich deutlich Anisotropie. Die „Hörkölbchen“ sind isotrop.

VI. Ordnung: **Narcomedusae.**

Aegineta flavesdus zeigt reichere Anisotropie, die Tentakeln sind doppelbrechend, und auch die Umbrella ist optisch gegliedert; im Übrigen ist das Tier isotrop.

III. Klasse: **Scyphozoa.**

Die untersuchten Formen Aurelia aurita, Ephyra, und Nausithoë zeigten keine Anisotropie.

IV. Klasse: **Anthozoa.**

I. Ordnung: **Octocorallia.**

Alcyonacea.

Bei den einzelnen Polypen von Alcyonium digitatum fallen zahlreiche kleine eingelagerte Körper durch starke Doppelbrechung auf, das ganze Gewebe ist oft wie mit kleinen glänzenden Punkten durchsät. Über die Natur dieser Körperchen konnte nichts ermittelt werden, bei der Untersuchung im gewöhnlichen Lichte sind sie überhaupt nicht zu bemerken. Der Polyp selbst ist isotrop. Auch Schnitte durch das Coenenchym zeigen keine Anisotropie, wohl aber sind die Kalkeinlagerungen, wie immer, stark doppelbrechend. Möglicherweise sind die eben beschriebenen glänzenden Pünktchen von diesen Kalkeinlagerungen beim Herstellen der Präparate abgerissen.

Gorgonacea.

Die Rindenkorallen ähneln im optischen Verhalten den Alcyonacea. Auch hier sind die Polypen isotrop. Die kalkigen Skelettteile stark doppelbrechend.

Pennatulacea.

Die Seefedern bieten den gleichen Befund wie die anderen Octocorallia.

II. Ordnung: **Hexacorallia.**

Actiniaria.

Bei den Actinien, deren Ectoderm und Entoderm isotrop ist, tritt uns in der Mesoglöa ein Gewebe entgegen, das eine optische Differenzieuung in ganz hervorragendem Maasse aufweist. Die Mesoglöa wird im allgemeinen als eine dicke, verhältnismässig kernarme Schicht, ohne besondere Gliederung beschrieben. Indes war es mir bereits bei Anwendung von Leukomethylenblau auf den subvitalen Gefrierschnitt gelungen, eine Gliederung der Mesoglöa in drei parallele Schichten nachzuweisen. Im polarisierten Lichte zeigt sich nun ein ganz merkwürdiges Verhalten, auf das ich schon bei Gelegenheit einer anderen Arbeit kurz hinweisen konnte. An dem an das Entoderm grenzenden Teile der Mesoglöa erheben sich Massen, die etwa bis in das äussere Drittel der Mesoglöa reichen, die sehr stark doppelbrechend sind. Diese Massen stehen untereinander nicht in Verbindung, höchstens findet sich hin und wieder eine schmale doppelbrechende Brücke, die durch das isotrope Gewebe hindurchgeht. In die Septen hinein zieht sich gleichfalls ein doppelbrechender Strang innerhalb der mesenchymatischen Stützlamelle. Die Muskulatur ist auch doppelbrechend, aber längst nicht in dem Maasse, wie die betreffenden Teile der Mesoglöa. Die doppelbrechenden Bezirke der Mesoglöa sind nicht etwa in dem Gewebe präformiert. Stellt man die Nicols parallel, so dass man ein gewöhnliches Bild erhält, und dreht dann, fortwährend beobachtend, den Analysator, so sieht man wie diese Bezirke aus ganz indifferenten Gewebsteilen auftauchen, ausserordentlich starke Färbung annehmen, und bei Drehung um 180° schliesslich wieder spurlos verschwunden sind. Hier haben wir einen Fall, wo uns durch das Polarisationmikroskop in eklatanter Weise Eigentümlichkeiten eines Gewebes zugänglich gemacht

werden, die auf keine andere Weise zugänglich sind. Der Natur der Sache nach ist es ganz ausgeschlossen, diese Verhältnisse etwa durch Behandeln mit Farbstoffen nachzuweisen, da es sich hier ja nur um optische Verschiedenheiten handelt, die mit dem chemischen Charakter des Gewebes garnichts zu tun haben.

Antipatharia.

Die Achse sowohl wie die Rinde mit den Polypen zeigt keine Doppelbrechung.

Madreporaria.

Dagegen zeigt das Skelett der Madreporaria eine sehr reiche Gliederung in optischer Hinsicht. Das kristallinische Gefüge kommt im polarisierten Licht besonders schön zum Ausdruck. Die Polypen zeigen keine Doppelbrechung. Das Coenenchym zeigt stellenweise eine geringe optische Differenzierung, die indes mit der Differenzierung bei den Actinien garnicht zu vergleichen ist.

III. Kreis: Ctenophorae.

Die wenigen Exemplare Pleurobrachia und Beroë die untersucht wurden, zeigten nur ganz unsichere Spuren von Doppelbrechung. Gerade bei diesen zarten Tieren wäre eine Untersuchung an lebendem Material dringend nötig.

III. Stamm: Platoden.

I. Ordnung: **Turbellaria.**

Rhabdocoela wie Dendrocoela weisen im polarisierten Lichte wenig bemerkenswertes auf. Die Muskulatur ist schwach doppelbrechend, Saugnäpfe sind gleichfalls schwach doppelbrechend, die übrigen Teile des Körpers bleiben zwischen gekreuzten Nicols dunkel.

II. Ordnung: **Trematoden.**

Polystomum und Distomum schliessen sich durchaus den Turbellaria an. Auch hier sind nur die Muskulatur und die Haftscheibe sowie die Saugnäpfe doppelbrechend.

III. Ordnung: **Cestoden.**

Die Bandwürmer bieten insofern besonders interessante Befunde dar, als ihr optisches Verhalten während den verschiedenen Stadien ihrer Entwicklung einem einschneidenden Wechsel unterworfen ist. Die Finne von Taenia solium zeigt eine deutliche Doppelbrechung in flächenhafter Ausdehnung, besonders die Saugnäpfe treten durch starke Drehung der Polarisationsebene hervor. Beginnt sich nun aus der Finne der Bandwurm zu entwickeln, so schwindet die Anisotropie vollständig, selbst mittelreife Proglottiden zeigen sich als durchaus isotrop. Erst wenn die Proglottis reif ist, kann man wieder eine Doppelbrechung bemerken, die allerdings viel schwächer ist, als bei der Finne. Sie wird indes nicht durch die Entwicklung der Gonaden und ihrer Produkte bedingt, sondern ist durch die Entwicklung der Muskulatur hervorgebracht. Die Untersuchung wird am besten wegen der relativen Undurchsichtigkeit der Präparate mit dem durch einen besonderen Kondensor konzentrierten Licht der Quecksilberdampflampe über einer Gipsplatte Rot I. Ord. bei etwa 100 facher Vergrösserung vorgenommen. Das Parenchym erscheint bei enem mit Karmin gefärbten Präparate gelbgrün und die Muskelstränge blau-violett. Diese optische Färbung ist ausserordentlich klar und distinct. Auf Querschnitten durch Proglottiden von Taenia solium ist dagegen von einer Doppelbrechung der Muskulatur nichts zu bemerken, der Grund ist der, dass das dünne Muskelgewebe von Taenia solium in einer einzigen Fläche von 10—20 μ nicht imstande ist, die Polarisationsebene so zu drehen, dass

daraus ein bemerkbarer Farbenumschlag des Rot I. Ord. erfolgt. Bei sehr grossen Individuen, die eine reicher entwickelte Muskulatur besitzen, ist der charakteristische Umschlag auch im Querschnitte vorhanden.

Bei Taenia saginata ist der Befund der entsprechende. Dagegen ist bei Bothriocephalus latus die Isotropie viel weiter fortgeschritten, auch ganz reife Proglottiden dieser Form zeigen keine Doppelbrechung.

Es liegt nahe, hier Beziehungen zwischen der parasitischen Lebensweise und der Anisotropie zu suchen. Die Finne von Taenia zeigt eine deutliche Doppelbrechung, die in ihrer flächenhaften Ausbreitung anzeigt, dass im Gewebe eine Orientierung der Moleküle erfolgt ist. Bei der Entwicklung des Bandwurmes ist zunächst der Körper des sich rasch vergrössernden Wurmes völlig isotrop, bei Taenia tritt am Ende der Entwicklung eine Doppelbrechung auf, die aber strikte an die Muskulatur gebunden ist, bei Bothriocephalus bleibt die Isotropie dauernd bestehen. Dabei sind die Bedingungen für ein Auftreten einer optischen Differenzierung recht günstig, bei dem raschen Wachstum des Tieres, sollten nach der Spannungshypothese Ebner's auf Dehnung beruhende gleichsinnige Orientierungen entstehen, ferner erscheint das in vergleichsweise mächtiger Ausdehnung entwickelte Parenchym für eine solche Differenzierung geradezu praedestiniert. Da trotz alledem aber doch keine Anisotropie auftritt, so muss offenbar die Lebensweise hier als ein differenzierungsverhinderndes Moment gewirkt haben.

Nun läge es nahe, hier in der fehlenden Differenzierung den Ausdruck einer niedrigen Organisation, einer verminderten physiologischen Leistungsfähigkeit zu sehen. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass die weitverbreitete Vorstellung von dem mühelosen Nahrungserwerb des Bandwurms, der Verdauungsorgane überflüssig mache, wenigstens vom che-

misch-physiologischen Standpunkte aus nicht zutreffend ist, und sich mit den modernen Ansichten über die Nahrungsaufnahme, wie sie insbesondere von Abderhalden entwickelt worden sind, nicht in Einklang bringen lässt. Was dem Bandwurm im Darm geboten wird, sind nicht etwa weitgehend abgebaute Produkte, aus denen er ohne weiteres sein körpereignes Plasma aufbauen kann — ein solches Material entsteht im Organismus erst jenseits der Darmzellen, und bei höheren Tieren nach Prüfung durch Leber und Milz — sondern ein höchst variables Gemisch von ungleichmässig zerlegten Nahrungsstoffen, die sich unter der Einwirkung sehr verschiedener Fermente befinden und durch Abfallschlacken verunreinigt sind. Hieraus muss der Bandwurm seine Nahrung erst gewinnen, gleichzeitig muss er gegen die ständig vorhandenen Verdauungsfermente spezifisiche Antifermente erzeugen, und Abwehrmassregeln gegen die Fäulnisbacterien des Darmes treffen; in der Tat haben Bandwurmextracte eine ausgesprochene bactericide Wirkung. Zieht man nun noch in Betracht, wie enorme Veränderungen seiner Lebensbedigungen der Bandwurm hat über sich ergehen lassen müssen, so muss man zugeben, dass hier nicht etwa eine physiologisch-chemische Nahrungsaufnahme von grosser Einfachheit und Einheitlichkeit vorliegt, sondern, dass im Gegenteil die gestellten Aufgaben äusserst verwickelt und schwierig sind.

Und doch ist eine Doppelbrechung nicht vorhanden! Gerade in diesem Zusammenhang ist es wichtig noch auf das Beispiel von Hydra zurückzukommen. Auch hier haben wir einen Organismus, der keine Anisotropie zeigt, der sich aber als Raubtier, in seiner Ernährung ganz anders verhält. Bei Hydra fällt auch der Einwurf eines Einflusses der parasitischen Lebensweise fort. Wir werden vielmehr beim Zusammenhalten dieser beiden Fälle zu der Annahme gedrängt, dass ein bestimmter Zusammenhang zwischen

Doppelbrechung und Höhe der physiologisch-chemischen Leistungsfähigkeit nicht zu existieren braucht. Es sei auf ein Beispiel aus der organischen Chemie hingewiesen: es gibt Körper, die in verschiedenen optischen Modifikationen auftreten, z. B. die Weinsäure kommt in einer optisch inaktiven, einer rechts- und linksdrehenden Form vor. Die Untersuchung dieser optischen Verschiedenheiten hat wertvolle Aufschlüsse über die Stellung der Atome im Molekül gegeben. Auch die Gewebe der Organismen zeigen ein verschiedenartiges optisches Verhalten. Eine hohe physiologische Leistungsfähigkeit ist das eine Mal mit Doppelbrechung, in einem anderen Falle mit einfacher Brechung verbunden, scheinbar homogene Gebilde zeigen sich optisch reich differenziert. Aber die Verhältnisse liegen hier ungleich verwickelter, als bei einfachen chemischen Individuen. Und doch kann man hoffen, dass sich bei Verfolgung dieses neuen Weges eine tiefere Einsicht eröffnet.

IV. Stamm: Vermes.

Bryozoen.

Cristatella mucedo zeigt bei den meisten Individuen keine Doppelbrechung. Die Tentakel, die Leibeswand und die Retraktoren sind einfachbrechend, nur im Mitteldarm tritt bei grossen Individuen eine leichte pleiohistsche Doppelbrechung auf.

Die Statoblasten zeigen zunächst keine Anisotropie. Entfernt man jedoch die Luftkammern und legt den eigentlichen Zellkern frei, so sieht man, dass dieser deutlich optisch zweiachsig orientiert ist. Bei Betrachtung mit dem Achsenbilder-Hilfsmikroskop tritt dieser Befund noch deutlicher hervor. Indes ist auch hier eine Identifizierung der Achsen mit histolo-

gischen Elementen nicht vorhanden, die Doppelbrechung der Statoblasten ist also gleichfalls pleiohistisch.

Chaetognathen.

Der muskulöse Körper dieser pelagischen Räuber bietet ein ausgezeichnetes Objekt für optische Studien dar. Bei Sagitta bipunktata zeigt zunächst der Kopf über einer Platte Rot I. Ord. eine sehr bunte Farbe, die dadurch hervorgerufen wird, dass die doppelbrechenden Gewebe mannigfach gefaltet sind, und so ihre optischen Achsen teils in der Additions- teils in der Subtraktionslage liegen, also steigende oder fallende Narben zeigen. Am Kopf sind zunächst die Greifhaken von pleiohistischer Anisotropie; die Stacheln zeigen ein entsprechendes Verhalten. Das Gehirn und Nervensystem ist isotrop, ebenso die Ocellen. Die Kopfkappe ist doppelbrechend. Die auffälligste Färbung zeigt die Muskulatur. Bei Sagitta bipunktata ist die Muskulatur eine aus gerade, oder doch nur selten leicht gewellten Fibrillenbündeln zusammengesetzt, infolgedessen zeigt die Muskulatur eine einheitliche Interferenzfarbe. Innerhalb der Muskelbündel ist deutlich isotrope und anisotrope Substanz in bekannter Anordnung unterscheidbar. Die Epidermis zeigt eine an der Basis starke, nach der Oberfläche gleichmässig abnehmende Anisotropie, die Abnahme erfolgt sehr gleichmässig, eine Bildung einzelner doppelbrechender Inseln in isotropen Material, etwa wie in der Mesoglöa der Aktinien ist nicht zu konstatieren. Die Flossen zeigen eine zwar schwache, aber deutliche Doppelbrechung, die einzelnen Flossenstrahlen treten als stärker brechend hervor. Der Darm und die Gonaden sind einfachbrechend.

Bei Sagitta hexaphera liegen die Verhältnisse ähnlich. Nur in dem Verhalten der Muskulatur zeigt sich ein durchgreifender Unterschied, wie er in Fig. 3 dargestellt ist. Die Fibrillenbündel der Muskeln von

S. hexaphera haben nicht den geraden oder leicht gewellten Verlauf wie bei S. bipunktata; sie sind vielmehr zickzackförmig eingeordnet, die einzelnen Abschnitte bilden verhältnismässig kleine scharfe Winkel miteinander. Durch diese Anordnung kommt nun ein sehr scharfer Farbwechsel innerhalb der Muskulatur zu Stande. Über einer Platte Rot I. Ordn. erscheint ein Streifen der Muskulatur Blau-Violett, ein anderer Gelb. Dieser auffällige Farbwechsel täuscht eine Querstreifung der Muskulatur vor. Die histologische Querstreifung hat aber mit dieser optischen nicht zu tun, wie sich schon aus der Verschiedenheit der Grössenordnung ergibt.

Von besonderem Interesse ist der Umstand, dass S. bipunktata mit homogen doppelbrechender Muskulatur den schlaffen Sagitten und S. hexaphera den Sagitten von straffem Typus zugerechnet wird; bei ihr ist die Muskulatur scheibenförmig alternierend doppelbrechend. Es wäre eine dankbare Aufgabe hier eine systematische Untersuchung vorzunehmen. Jedenfalls werden hier Verhältnisse durch die optische Methode deutlich und leicht sichtbar gemacht, die farbchemisch nicht darzustellen sind, und die offenbar zur Biologie der betreffenden Tiere Beziehungen aufweisen.

Bei Untersuchung im homogenen Lichte der Quecksilberdampflampe von 556 $\mu\mu$ zwischen gekreuzten Nikols zeigt sich bei Drehung des Präparates besonders deutlich die Helligkeitsänderung zwischen den verschiedenen Teilen, das Aufleuchten und Schwarzwerden desselben Streifens bei der Drehung zeigt deutlich, dass es sich hier um Unterschiede handelt, die nicht durch histologische Differenzen, sondern durch verschiedene Orientierung rein physikalisch hervorgerufen werden.

Pherosagitta draco zeigt denselben Befund wie S. hexaphera, nur ist die dicke Epidermis nicht optisch differenziert.

Nematoden.

Ascaris megalocephala zeigt in der Muskulatur die bekannte Doppelbrechung, die besonders in dem basalen Teile der Zellen hervortritt. Sehr eigentümlich ist das Verhalten der Hypodermis. Sie ist das am stärksten doppelbrechende Gewebe des ganzen Tieres! Diese undifferenzierte Schicht, die die Epidermis abgeschieden hat, zeigt eine ausserordentlich starke, völlig homogene Anisotropie. Die Cuticula selbst ist gleichfalls in ihren drei Schichten doppelbrechend, jedoch nicht so stark wie die Hypodermis. Ihre Schichten weisen ein verschiedenes Verhalten auf. Bei der der Hypodermis zunächst liegenden Schicht, ist die optische Achse senkrecht zu der der Hypodermis gestellt, so dass diese Schicht dunkel ist, wenn die Hypodermis maximale Helligkeit besitzt, diese Schicht hat etwa doppelte Breite im Verhältnis zur Hypodermis, die folgende mittlere Schicht besitzt das gleiche Verhalten, wie die Hypodermis, sie ist etwa ein Drittel bis ein Viertel so stark wie diese. Die oberste Schicht der Cuticula zeigt wieder das Verhalten der starken untersten Cuticulaschicht; sie ist von sehr geringer Dicke. Die Differenzierung dieser optisch verschiedenen Schichten ist sehr rein, nirgends finden sich Übergänge vor. Eine stichhaltige Erklärung für diesen sonderbaren Befund vermag ich nicht zu geben, möglicherweise haben hier verschiedene Spannungstendenzen während der Entwicklung mitgespielt. Die übrigen Organe zeigen keine Doppelbrechung.

Anneliden.

Hirudineen.

Bei Hirudo medicinalis ist die Muskulatur in der bekannten Weise idiohistisch anisotrop. Besonders die Muskulatur der Kiefer weist eine starke Doppelbrechung auf, ihre mannigfach verflochtenen Züge

lassen sich aus dem Bindegewebe sehr schön optisch differenzieren. Die verkalkten Zähne sind, wie zu erwarten, doppelbrechend. Die übrigen Organe weisen keine merkenswerte Anisotropie auf.

Auch das Parenchym ist vollkommen isotrop. Doch ist durch diesen Befund nicht etwa eine Einschränkung des über das Parenchym des Bandwurmes gesagten notwendig. In physiologisch-chemischer Hinsicht sind dem Parenchym des Hirudo ganz andere Aufgaben gestellt; alle die Vorgänge des Abbaues der Nahrungsbruchstücke, der Antifermentbildung u. s. f., fallen beim Hirudo fort, da dieser über ein wohlausgebildetes Darmsystem und Exkretionssystem verfügt. In dieser Hinsicht stellt sich Hirudo viel näher zu den übrigen freilebenden Organismen als zum Bandwurm, der in jeder Beziehung Verhältnisse sui generis aufweist.

Chaetopoden.

Lumbricus herculeus zeigt ähnliches Verhalten wie Hirudo. Die Muskulatur ist stark doppelbrechend. Bei der interessanten Längsmuskelschicht zeigt sich ein Vorwiegen der Anisotropie in den peripheren Muskelbändern, aber auch der protoplasmatische innere Teil zeigt Doppelbrechung, allerdings ist diese Doppelbrechung sehr schwach, bei stärkerer Vergrösserung liegt sie gerade an der Grenze der Sichtbarkeit. Eine Nachprüfung durch andere Beobachter wäre jedenfalls wünschenswert. Die Borsten von Lumbricus sind anisotrop.

Nereïs pelagica imponiert besonders durch die äusserst starke Doppelbrechung des Rüssels mit den Kiefern. Diese sind so stark anisotrop, dass sie schon ohne Gipsplatte Interferenzfarben höherer Ordnung zeigen. In den übrigen Teilen des Tieres ist die Muskulatur von normaler Doppelbreechung und es gewährt einen seltsamen Anblick zwischen gekreuzten

Nicols die Muskulatur des Tieres nur schwach sichtbar zu finden, während die Kiefer in hellem Lichte erstrahlen. Sonst sind noch die Borsten der Parapodien doppelbrechend und zwar in homogener Weise, ohne in mehrere Schichten zu zerfallen. Die Ocellen und Palpen sind isotrop. Auch bei Nereïs dürfte, wie bei Sagitta, die Lebensweise von Einfluss auf die Ausbildung der starken Doppelbrechung sein.

V. Stamm: Echinodermata.

1. Klasse: **Asteroidea.**

Das Skelett der Seesterne besteht aus einzelnen Platten aus doppelbrechendem Kalkspath, die gegeneinander beweglich sind. Diese Platten bestehen nun aus einem feinsten Gerüst einzelner Stäbchen. Auf einem Querschnitt durch den Arm von Asterias rubens imponieren diese verschiedenen Platten, und zwar in gleichem Maasse Supramarginalplatte, Inframarginalplatte, Ambulakralplatte und Adambulakralplatte, durch starke Anisotropie. Die eigenartige Struktur dieser Platten (und anderer Skelettteile der Echinodermen) hat ein Zoologe, Siegfried Becher (1), dazu benutzt, um aus diesem Material Polarisationsapparate herzustellen, die vor den bisher üblichen gewisse Vorteile haben. Die Polarisation des Lichtes erfolgt hier durch Zerstreuung, Brechung und Reflexion in einem maschigen Gewebe. Auch die Pedicellarien zeichnen sich durch starke Doppelbrechung aus.

Von den Geweben des Asterias ist das Nervensystem , sowohl apikales wie orales, isotrop. Die Muskulatur ist in normaler Weise doppelbrechend. Bemerkenswert ist die Doppelbrechung des Magens und der Darmdivertikel. Die Ampullen sind isotrop.

Bei Schnitten durch entkalkte Teile des Seesternes fällt die Doppelbrechung viel weniger auf, man ist da-

her gezwungen, mit dem Gefriermikrotom grobe Schnitte herzustellen und diese dann aufzustellen, wenn hierbei auch oft Zerreisssungen im Gewebe auftreten, so sind doch diese Präparate viel einwandsfreier als entkalkte, die dem Einfluss starker Säuren ausgesetzt sind.

II. Klasse: **Echinoidea.**

Bezüglich der Kalkplatten zeigen die Seeigel dasselbe Verhalten wie die Seeesterne. Die Pedicelllarien zeigen in ihrem Aufbau eine besonders reiche Gliederung in optischer Hinsicht. Der Stiel zeigt im polarisierten Lichte deutlich den Kalkstab mit seiner Scheide elastischen Fasern, die auch, aber schwächer doppelbrechend sind; der Kalkstab selbst besitzt eine komplizierte Struktur, die in ihrer Gliederung unwillkürlich an Epiphyse und Diaphyse eines menschlichen Röhrenknochens erinnert. Die Pedicellarien scheinen auch bei den verschiedenen Spezies Unterschiede im optischen aufzuweisen, sodass hier das Polarisationsmikroskop auch für systematische Zwecke in Betracht kommen könnte.

Die Gewebe der Seeigel verhalten sich wie die der Seesterne, zu bemerken wäre nur, dass das Mesenterium eine pleiohistische Doppelbrechung aufweist, offenbar äussert sich hier der Zug des aufgehängten Darmapparates.

III. Klasse: **Holothurien.**

Bei der starken Reduktion, welche das Hautskelett der Seewalzen erfahren hat, ist auch ein starkes Abnehmen der Doppelbrechung erfolgt, auch die Körperwand zeigt bei ihrer weichen Beschaffenheit nur eine ganz schwache Anisotropie. Nur die eingelagerten Muskeln zeigen kräftige Doppelbrechung, deutlich ist hierbei die Längs- von der Quermuskulatur zu unterscheiden. Das Mesenterium ist zuvor auch pleio-

histisch doppelbrechend, aber lange nicht so stark, wie derjenige der Seeigel. Der Darm sowohl, wie Kiemenbaum und Cuvier'sche Organe zeigen Isotropie. Auch die Gonaden sind isotrop. Stark doppelbrechend sind die Befestigungsstränge der Kloake. Auch die Mundtentakel zeigen Doppelbrechung. Im übrigen weisen die Holothurien von den übrigen Echinodermata keine Besonderheiten auf.

VI. Stamm: Molluska.

I. Klasse: **Amphineura**.

Bei Chiton ist zunächst die Schale, wie die Schale aller Mollusken doppelbrechend. Indes zeigt sich hier nicht der feine Aufbau, wie wir ihn bei den Echinodermen gesehen haben, sondern es handelt sich hier um eine kompakte Masse, die nur gelegentlich lokale Schwankungen in der Intensität der Doppelbrechung aufweist.

Von den Geweben ist vor allem die Muskulatur stark idiohistisch doppelbrechend und ihr Verlauf lässt sich im Gewebe im ungefärbten Schnitt mit mindestens der gleichen Genauigkeit verfolgen wie sonst mit Hilfe einer differenzierenden Färbung. Die Beobachtung mit polarisiertem Licht bietet noch den weiteren Vorteil, dass man durch drehen des Objektes die Interferenzfarbe des Muskels zum Umschlagen aus der Additions- in die Subtraktionsfarbe bringen kann, hierdurch werden sehr feine Muskelfibrillen sichtbar, die selbst eine van Gieson'sche Färbung nur unsicher angibt.

Das Nervensystem von Chiton ist isotrop, ebenso sind die Gonaden einfach brechend. Die Leber zeigt an sich auch einfache Brechung, ist aber mit vielen kleinen doppelbrechenden Körperchen durchsetzt.

Das Integument ist einfachbrechend. Auch die Aestheten des Teguments zeigen weder in den Zellen, noch in der Chitinkappe Doppelbrechung.

Das Darmsystem und die Nieren sind isotrop.

II. Klasse: **Gastropoda.**

Die Schale der Schnecken zeigt das gleiche Bild wie die Schale der Amphineuren. Der Kiefer und die Radula sind isotrop.

Von den Geweben zeichnet sich lediglich die Muskulatur durch starke Doppelbrechung aus. Insbesondere die Rückziehmuskeln des Kopfes, der Tentakeln und des Penis weisen starke Anisotropie auf, der Spindelmuskel ist weniger stark doppelbrechend. Die feinen, vielfach durchflochtenen Muskelzüge im Bindegewebe lassen sich auch hier ausgezeichnet darstellen.

Das Parenchym der Gonaden ist isotrop. Nieren, Leber und Eiweissdrüsen zeigen keine Anisotropie.

Dagegen tritt uns im Nervensystem zum ersten Mal eine Doppelbrechung entgegen. Die beiden mächtigen Cerebralganglien rufen über der Gipsplatte Rot I. Ordnung ein deutliches Steigen und Fallen der Farbe hervor. Bei den Nervensträngen tritt diese Veränderung nicht mehr ein. Offenbar liegt das nur an ihrer geringen Dicke, die nicht hinreicht um einen sichtbaren Gangunterschied der Lichtstrahlen zu bewirken. Auch bei dem Nervensystem der bisher untersuchten Tiere scheint lediglich die geringe räumliche Ausdehnung der betreffenden Gewebe ein sichtbares Auftreten von Doppelbrechung zu verhindern. Jedenfalls scheint es mir nicht angebracht, etwa einen prinzipiellen Unterschied zwischen dem Bau der nervösen Substanz bei Schnecken einerseits und Amphineuren, Anneliden etc. andererseits zu konstruieren. Die Verschiedenheit in der Dicke bietet eine ausreichende Erklärung und es muss das Ziel weiterer Forschung sein

mit verfeinerten Methoden eine Anisotropie auch bei dem Nervensystem dieser jetzt scheinbar ein isotropes Nervengewebe aufweisenden Tiere zu konstatieren.

III. Klasse: **Lamellibranchiata**.

Die Muscheln schliessen sich durchaus den Schnecken an. Für die Erforschung des feineren Baues der Perlen, die ja in letzter Zeit wesentlich gefördert ist, dürfte das Polarisationsmikroskop gute Resultate versprechen. Die Art der Entstehung der Perlen dürfte dem Auftreten von Anisotropie sehr günstig sein, und gewiss würde über die Art des Aufbaues manches neue gefunden werden. Leider konnten aus Mangel an Material hier keine Untersuchungen ausgeführt werden. Die Gewebe verhalten sich in jeder Beziehung wie die der Schnecken, so dass das dort gesagte ohne weiteres auch für die Muscheln gültig ist.

IV. Klasse: **Cephalopoda**.

Auch die Cephalopoda schliessen sich eng an die übrigen Mollusken an. Überhaupt tritt in der Tierreihe eine bemerkenswerte Konstanz der Anisotropie von den Mollusken an auf. Die Untersuchung der Tintenfische bietet insofern Schwierigkeiten, als junge Exemplare (wie alle noch in der Entwicklung begriffenen Organismen) die Anisotropie noch nicht voll ausgebildet zeigen. Ausgewachsene Tiere sind aber zur histologischen Untersuchung meist zu gross. Es wäre hier die Möglichkeit gegeben, die Becher'schen Zerstreuungspolarisatoren, die in grossen Formaten hergestellt werden können, mit Erfolg anzuwenden. Die Tintenfische müssten dann durch Einbetten in ein Medium von mittlerem Brechungsindex, nach Art der Spalteholz'schen Methode, vorbereitet werden. Auf diese Weise liessen sich sicher ausgezeichnete Überblicke gewinnen. Ein Organ der Tintenfische nimmt jedoch eine ganz be-

sondere Stellung ein, es ist der Spermatophor. Der Spermatozoensack und die innere Hülle sind isotrop, die äussere Hülle ist mässig anisotrop. Der Ejakulationsapparat weist dagegen eine so hohe Anisotropie auf, wie er nur bei wenigen Kristallen gefunden wird. Auch ist der Bau und die Lage der Elastizitätsaxen der verschiedenen Schichten ein ausserordentlich komplizierter. Es wird das Ziel einer späteren Arbeit sein, hier auf vergleichend anatomischer Basis näheres zu ermitteln.

VII. Stamm: Arthropoda.

Die Arthropoden weisen, trotz der grossen Mannigfaltigkeit der Formen einheitliche Beziehungen auf. Muskulatur und Nervensystem sind anisotrop. Das Chitin verhält sich so, dass es überall, wo es in nicht zu dünner Schicht auftritt, Doppelbrechung hervorruft. Gerade dieses Verhalten stimmt mit dem Verhalten des Nervensystems gut überein, das Chitin ist im Insektenkörper sicherlich derselbe Stoff, ob er nun in dicker oder dünner Schicht angelegt wird, und so liegt der Analogieschluss nahe, dass auch zwischen isotropen und anisotropen Nervengewebe kein Unterschied gemacht werden darf.

VIII. Stamm: Tunicata.

Auch die Tunicaten weisen von dem seit den Mollusken konstant gewordenen Verhalten — Anisotropie der Muskulatur, stellenweise in hervorragendem Maasse, und Nervensystems — keine Abweichung auf. Besondere Erwähnung beansprucht nur die Tunica. Sie ist stark doppelbrechend, jedoch nicht in derselben Weise wie die pflanzliche Cellulose, wie sich bei der Untersuchung mit monochromatischem Lichte und dem

Quarzkeilokular zeigt. Die pflanzliche Zellulose ist in ihrem optischen Verhalten bei Nitrierung von H. Ambronn (2) genau studiert, ein gleiches Verfahren dürfte bei dieser tierischen Cellulose sicher interessante Unterschiede ergeben.

Theorien über die Anisotropie organischer Substanzen.

Die Frage wodurch manche organische Gewebe anisotrop sind, ist in verschiedener Weise beantwortet worden. Hofmeister (3) und Ronget (4) nahmen an, dass die Oberfläche der anisotropen Gewebe mit Schichten und Streifen verschiedener Dicke, die spiegelnde Flächen aufweisen, ausgestaltet sei, und dass an diesen Grenzflächen die Polarisierung des Lichtes durch Reflexion oder Beugung erfolge. Ein solches Verhalten, die sog. Stäbchenpolarisation, kommt allerdings vor, z. B. bei Diatomeen. In den Fällen, die wir untersucht haben, ist jedoch von einer Stäbchenpolarisation aus dem Grunde keine Rede, weil die Untersuchung durchweg in einem Medium von einem dem Gewebe annähernd gleichen Brechungsindex vorgenommen wurde, wo die Bedingungen für ein Auftreten von Stäbchenpolarisation fehlen.

Ferner hat schon Ehrenberg, und in neuerer Zeit Schimper die Ursache der Anisotropie in einer „kristallinischen Struktur" der betreffenden Gewebe gesucht. Aufgestellt wurde diese Hypothese zunächst für Stärkekörner, wo die Granulose die kristallinische Substanz sein sollte. Allein Nägeli wies nach, dass nach Herauslösung der Granulose der übrigbleibende, nur aus Cellulose bestehende Teil des Stärkekornes noch genau die gleichen optischen Eigenschaften zeigt. Auch scheint an sich das einfache Übertragen von aus der Kristallographie entlehnten Begriffen auf organische Gewebe wenig glücklich, und die Hypothese der

kristallinischen Struktur hat auch keine weitere Anwendung erfahren.

Ebner (5) versuchte auf einem ganz anderen Wege das Problem zu lösen. Ausgehend von der Erfahrungstatsache, dass isotrope Substanzen, z. B. Gelatine, durch Druck und Zug anisotrop werden, nahm er an, dass auch im Organismus die Anisotropie dann aufträte, wenn ein Gewebe diesen mechanischen Einwirkungen ausgesetzt wäre. Zur Erklärung wies er besonders auf das Auftreten von Spannungen während des Wachstumes und der Entwicklung der Gewebe, und auf den Druck, den die einzelnen Zellen der Epithelien auf einander ausüben hin. Indessen bleibt es unerklärlich, warum dann nicht alle Gewebe, sondern nur immer ganz bestimmte Doppelbrechung zeigen. Auch lässt sich Ebners angenommener Druck und Zug weder direkt nachweisen noch messen. Besonders glaube ich hier auch auf den Befund bei Hydra hinweisen zu dürfen. Wenn überhaupt Zug und Druck Doppelbrechung hervorrufen, dann müsste dies bei Hydra der Fall sein, das ganze Tier ist aber völlig isotrop. Ferner scheint es, als ob die durch Drehung hervorgerufene accidentelle Doppelbrechung einer homogenen Substanz, mit der reich differenzierten Anisotropie garnicht direkt verglichen werden könnte.

Nicht in äusseren Bedingungen, sondern in der Natur des Gewebes selbst suchte Nägeli die Ursachen der Anisotropie. Nägeli nimmt an, dass die Anisotropie bedingt wird durch kleinste feste Molekülaggregate von kristallinischer Struktur, welche in der imbihierten organischen Substanz durch Wasserhüllen von einander getrennt sind.

Auch ich möchte mich der Ansicht Nägelis anschliessen, dass kleinste Molekülaggregate, oder auch nur besondere Moleküle, die Anisotropie bedingen. Ich suche jedoch nicht lediglich in der Form dieser Molekülaggregate die Ursache der Anisotropie, son-

dern vielmehr auch in der Lage, die die einzelnen Atomgruppen dieser Moleküle zueinander im Raume einnehmen die Bedingung für das Auftreten einer optischen Differenzierung. Hierdurch werden wir auf stereochemische Erwägungen gewiesen, die auch die funktionelle Bedeutung der Anisotropie in ein besonderes Licht rücken. Indessen sind die Untersuchungen in dieser Hinsicht erst in den allerersten Anfängen und auch von einer besseren Kenntnis der Struktur des Eiweiss-Moleküls abhängig, sodass ich wohl eine Festlegung der Ansichten auf spätere Zeit verschieben darf.

Zusammenfassung.

Überschauen wir rückblickend die untersuchten Formen und ihr Verhalten im polarisierten Licht, so drängen sich ganz unwillkürlich gewisse grosse Gesichtspunkte auf. Die Protozoen sind sämtlich isotrop und selbst unter den Metazoen finden sich Tiere, die keine Spur von Anisotropie aufweisen. Dies zeigt uns, dass die Anisotropie keineswegs mit dem physikalisch-chemischen Verlaufe der Lebensprozesse untrennbar verknüpft ist. Bei der Wertschätzung, welcher sich die Physiologie der Elementarorganismen in theoretischer Hinsicht erfreut, ist dieser Befund besonders bemerkenswert.

Bei Coelenteraten, Platoden und Würmern finden wir im allgemeinen ein ständiges Vorhandensein von Anisotropie. Die Anisotropie bei den Coelenteraten ist vorwiegend pleiohistisch. Bei Platoden und Würmern findet sich sowohl pleiohistisch als auch idiohistische Doppelbrechung.

Bei den Echinodermen, Arthropoden und Tunicaten finden wir in den Geweben eine idiohistische Doppelbrechung und nur in den harten Ausscheidungen, Kalkskeletten und Chitingebilden persistiert noch eine pleiohistische Anisotropie. Die Doppelbrechung der Gewebe ist im allgemeinen auf Muskulatur und Nervengewebe beschränkt und setzt sich mit grosser Konstanz durch die verschiedenen Klassen fort in un-

mittelbarer Übereinstimmung mit dem bei Wirbeltieren Bekannten.

Von besonderer Wichtigkeit dürften die Befunde sein, die bisher ganz unbekannt waren, und die eine reiche Differenzierung in Geweben zeigten, die bisher als indifferenziert galten, so die Mesoglöa der Aktinien, die Epidermis mancher Würmer, die Spermatophoren der Tintenfische. Hier erschliesst sich der Benutzung des Polarisationsmikroskops ein weites Feld.

Noch sind die Verhältnisse der Bedingungen, die die Anisotropie der tierischen Gewebe hervorrufen unklar und geheimnissvoll, noch ist ihre funktionelle Bedeutung gänzlich unaufgeklärt, aber schon haben sich neue, unerwartete Tatsachen finden lassen, und so darf ich wohl hoffen, dass die Forschung der Zukunft auf diesem Gebiete noch reiche Früchte tragen wird.

Lebenslauf.

Ich, F r i e d r i c h W a l t e r O e l z e, wurde am 3. Januar 1891 zu Egeln als Sohn des Apothekenbesitzers und Nahrungsmittelchemikers Dr. phil. F r i e d r i c h O e l z e und seiner Ehefrau H e l e n e geb. R o e b e r, geboren. Ich bin lutherisch. Ostern 1910 erhielt ich das Reifezeugnis der Oberrealschule an der Lutherkirche zu Hannover. Ich studierte 8 Semester Medizin und Naturwissenschaften an den Universitäten Göttingen, Halle, Genf, Wien, Jena und Breslau. Im Wintersemester 1913/14 bestand ich das Physikum. Bei Ausbruch des Krieges trat ich beim 2 Niedersächs. Feldart.-Rgt. No. 46 zu Wolfenbüttel als Kriegsfreiwilliger ein und wurde nach erfolgter Ausbildung zum Feldunterarzt befördert.
